酵母多糖对哺乳犊牛生长性能、消化代谢和血清生化指标的影响

董金金[1]　高艳霞[1]　李　妍[2]　李秋凤[1]　曹玉凤[1]　刘　博[3]　许利民[4]　李建国[1*]

（1.河北农业大学动物科技学院，保定 071001；2.河北农业大学动物医学院，保定 071001；3.河北省衡水市农牧局，衡水 053000；4.河北省隆化县农牧局，隆化 068150）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加不同剂量的酵母多糖对哺乳犊牛生长性能、消化代谢和血清生化指标的影响。选择初生重相近的健康中国荷斯坦犊牛 56 头，随机分为 4 组，每组 14 头。Ⅰ组（对照组）饲喂基础饲粮，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组在基础饲粮中分别添加 1、2、3 g/(头·d)的酵母多糖。试验期 60 d。结果表明：1）Ⅲ组犊牛平均日增重显著高于Ⅰ组（P<0.05）；各组犊牛各阶段干物质采食量均无显著差异（P>0.05），以Ⅲ组最高；添加酵母多糖对犊牛的体高、体斜长、胸围和管围均无显著影响（P>0.05）。2）Ⅲ组犊牛干物质、粗蛋白质、粗脂肪、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维的表观消化率显著高于Ⅰ组（P<0.05）。3）Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组犊牛的腹泻率和腹泻频率均低于Ⅰ组。4）Ⅲ、Ⅳ组犊牛血清 TP 含量显著高于Ⅰ组（P<0.05）；犊牛血清葡萄糖、白蛋白、尿素氮含量各组间均未达到显著水平（P>0.05）。Ⅲ组犊牛血清碱性磷酸酶、溶菌酶活性和总抗氧化能力显著高于Ⅰ组（P<0.05），Ⅲ组犊牛血清丙二醛含量显著低于Ⅰ组（P<0.05）。综合分析表明，哺乳犊牛饲粮中添加酵母多糖可促进犊牛生长发育和营养物质消化吸收，降低犊牛腹泻率。在本试验条件下，哺乳犊牛饲粮中酵母多糖的适宜添加量为 2 g/(头·d)。

关键词：酵母多糖；哺乳犊牛；生长性能；表观消化率；血清生化指标

中图分类号: S823　　　　文献标识码:A　　　　文章编号：

酵母多糖（yeast polysaccharide，YP）是酵母细胞壁的主要组成成分，又称酵母细胞壁多糖，是一种大分子多糖复合物，从酵母细胞壁中提取而得，外层为甘露聚糖，含量约为25%，中间层为蛋白质类物质，内层为葡聚糖，含量约为 25%[1]。酵母多糖通过调节机体肠

收稿日期：2018-05-30

基金项目：国家现代农业（奶牛）产业技术体系建设专项资金（CARS-36）；河北省科技计划项目（16226604D）；河北省农业产业技术体系奶牛创新团队(HBCT2018120203)

作者简介：董金金（1991-），女，河北邯郸人，硕士研究生，研究方向为反刍动物营养与饲料科学。E-mail: 1101200570@qq.com

*通信作者：李建国，教授，博士生导师，E-mail: 1181935094@qq.com

道菌群，降低胃肠道疾病、促进动物对营养物质的消化吸收、提高机体的抵抗力、提高动物的生产性能。而犊牛哺乳期机体抵抗力低下，面临各种外界刺激容易发生腹泻等多种疾病，因此提高犊牛免疫力从而促进生长性能至关重要。酵母多糖作为天然无毒副作用促生长的生物活性制剂，研究其对哺乳犊牛生长发育及代谢的作用具有重要意义。大量研究表明，酵母多糖可以提高家禽的机体抗氧化和生长性能[2-4]，降低仔猪的腹泻率，提高仔猪日增重、血清免疫球蛋白含量和生长性能[5-7]。也有研究表示，酵母多糖能提高受到免疫刺激时的小母牛能量代谢[8]、应激阶段阉牛的干物质采食量（DMI）及日增重[9-10]、泌乳牛产奶量以及乳蛋白率[11-12]。酵母多糖能提高成年反刍动物的 DMI、日增重和泌乳性能。关于甘露聚糖或β-葡聚糖单一成分对哺乳犊牛影响已有报道，但酵母多糖对哺乳犊牛的研究结果未见报道。因此，本试验旨在探究饲粮中添加不同剂量的酵母多糖对哺乳犊牛生长性能、消化代谢及相关血清生化指标的影响，探讨其作用机制及适宜添加量。

1 材料与方法

1.1 试验材料

酵母多糖购自湖北安琪酵母有限公司，主要含有 20.0%≤β-葡聚糖≤30.0%，20.0%≤α-甘露聚糖肽≤30.0%，肽类及蛋白质≥30.0%，几丁质≥2.0%，纯度>50%。

1.2 试验设计

试验选择初生重[（45.00±5.29） kg]相近、健康的中国荷斯坦犊牛 56 头，随机分为 4 组，每组 14 头，各组间平均初生重差异不显著（$P>0.05$）。Ⅰ组饲喂基础饲粮，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组在基础饲粮中分别添加 1、2、3 g/(头·d)的酵母多糖。试验期 60 d。

1.3 饲养管理

试验犊牛出生后 1 h 内灌服 4 L 初乳，之后安置于犊牛岛，均单笼饲养，自由饮水。试验期间每日每头饲喂牛奶 4 kg；7 日龄开始补充犊牛开食料，45 日龄开始自由采食苜蓿。1~6 日龄，酵母多糖添加在牛奶中，7~60 日龄添加在犊牛开食料中。开食料组成及营养水平见表 1。鲜奶和苜蓿的营养水平见表 2。

表 1　开食料组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the starter (air-dry basis) %

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2)]	含量 Content
玉米 Corn	24.00	干物质 DM	89.96
膨化大豆 Extrude soybean	22.90	粗蛋白质 CP	19.17
乳清粉 Whey powder	20.00	产奶净能 NE_L/（MJ/kg)	6.80
豆粕 Soybean meal	16.00	粗脂肪 EE	2.78
小麦麸 Wheat bran	13.00	粗灰分 Ash	7.45
石粉 Limestone	1.80	中性洗涤纤维 NDF	15.06
预混料 Premix[1)]	1.00	酸性洗涤纤维 ADF	6.49
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.80	钙 Ca	0.77
食盐 NaCl	0.50	总磷 TP	0.50
合计 Total	100.00		

[1)] 预混料为每千克开食料提供 The premix provided the following for per kilogram of the starter: VA 15 000 IU，VD 5 000 IU，VE 50 mg，Fe 90 mg，Cu 12.5 mg，Mn 30 mg，Zn 90 mg，Se 0.30 mg，I 1 mg，Co 0.5 mg。

[2)]产奶净能为计算值，根据 NRC（2001）[13]中各原料的产奶净能，分别乘以各自在开食料中所占的比例，再相加，其他为实测值。表 2 同。The NE_L was a calculated value，according to NRC (2001) [13]， the NE_L of each raw material was multiplied by the ratio of respective starter and then added together, while the others were measured values. The same as Table 2.

表 2 鲜奶和苜蓿的营养水平（风干基础）

Table 2 Nutrient levels of milk and alfalfa (air-dry basis) %

营养水平 Nutrient levels	鲜奶 Milk	苜蓿 Alfalfa
干物质 DM	12.52	94.00
粗蛋白质 CP	3.17	17.76
产奶净能 NE_L/（MJ/kg)	11.95	5.57

粗脂肪 EE	3.91	1.78
粗灰分 Ash		8.50
中性洗涤纤维 NDF		47.87
酸性洗涤纤维 ADF		36.04
钙 Ca	0.12	1.00
总磷 TP	0.09	0.27

1.4 样品采集与处理

1.4.1 饲粮样品与粪样的采集与处理

试验采用四分法采集开食料及苜蓿干草样品，并于 65 ℃烘干 48 h，制作成风干样品，置于封口袋内保存，用于饲粮营养成分含量的测定。

试验结束前收集粪样，连续 3 d 收集粪样，每头牛每天收集 600 g，均分成 2 份，一份样品直接装入自封样品袋制备风干样品，用于粗脂肪（EE）、钙（Ca）、磷（P），中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）含量的测定；另一份样品按每 100 g 新鲜粪便加入 20 mL 浓度为 10%的 H_2SO_4 进行处理，并于-20 ℃保存，用于粗蛋白质（CP）含量的测定。

1.4.2 血液样品的采集与处理

试验结束当日晨饲前，用促凝真空采血管从犊牛颈静脉采血 30 mL，将采集的血样 37 ℃水浴 30 min，1 240×*g* 离心 15 min，分离血清，-20 ℃冷冻保存待测。

1.5 样品分析与测定

1.5.1 体重体尺的测定

犊牛出生时，测定初生重，60 日龄（试验结束）早晨测定末重，计算 1~60 日龄平均日增重（ADG）。测定犊牛体高、体斜长、胸围和管围。

体高：从鬐甲最高点到地面的垂直距离，用测杖测量；体斜长：肩关节的前端到坐骨端的距离，用硬尺测量；胸围：肩胛骨后角处体躯的垂直周径，其松紧以能插上食指和中指上下滑动为准，用卷尺测量；管围：在前掌骨上 1/3 最细处的水平周径长度，以卷尺量之。

1.5.2 DMI 的测定

试验期间，记录每头犊牛每天的开食料及苜蓿干草的供给量和剩余量，并采集各组颗粒料及苜蓿干草各 300~500 g，于 105 ℃烘干至恒重，计算干物质含量。试验结束时，换算出

各组犊牛的 DMI。

1.5.3 腹泻率的测定

每日观察犊牛排泄情况，参考粪便得分标准[14-15]对犊牛的腹泻情况进行测定，当犊牛粪便评分≥2 时记为 1 个腹泻日。每头犊牛每腹泻 1 d 记为腹泻 1 次，计算犊牛腹泻率、腹泻频率。

腹泻率(%)=腹泻头数/总头数×100；

腹泻频率(%)=Σ（腹泻头数×腹泻天数）/（总头数×试验天数）×100。

1.5.4 营养物质表观消化率的测定

饲粮样品与粪样 DM 含量采用张丽英[16]的方法测定，EE、Ca 与 P 含量分别参照 GB/T 6436-2002[17、GB/T 6437-200[18、GB/T 6437-2002 19]测定，CP 含量参照 GB/T 6432-94[20]利用 FOSS 全自动蛋白测定仪进行测定，NDF 与 ADF 含量分别参照 GB/T 20806-2006[21、NY/T 1459-2007 22]利用全自动纤维仪 ANKOM-A2000i（美国）测定。

用酸不溶灰分法（内源指示剂法）计算饲粮中各营养物质的表观消化率。计算公式如下：

某营养物质表观消化率（%）＝（a/c-b/d）/（a/c）×100。

式中：a=饲粮中该营养物质含量（%）；b=粪中该营养物质含量（%）；c=饲粮中指示剂含量（%）；d=粪中指示剂含量（%）。

1.5.5 血清生化指标的测定

血清葡萄糖（GLU）、尿素氮（UN）、总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）含量及碱性磷酸酶（ALP）活性的测定采用北京北检公司的试剂盒（批号分别是 20170407、20170201、20170201、20170201、20170302）；血清丙二醛（MDA）含量及总抗氧化能力（T-AOC）的测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒（批号分别为 20170410、20170410），利用山东高密彩虹 GF-D200 型半自动生化分析仪测定；血清溶菌酶（LZM）活性的测定采用上海活乐生物科技有限公司的试剂盒（批号为 20170428），利用美国的 THERMO Multiskan Ascent 全自动酶标仪测定。

1.6 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 19.0 统计软件进行单因素方差分析，并用 Duncan 氏法进行多重比较。试验结果用平均值±标准差表示，以 P<0.05 为差异显著，以 P<0.01 为差异极显著。

2 结 果

2.1 酵母多糖对哺乳犊牛生长性能的影响

2.1.1 酵母多糖对哺乳犊牛体重的影响

由表 3 可知，各组犊牛初生重及末重差异均不显著（*P*>0.05）。III组犊牛 ADG 显著高于I组（*P*<0.05），而 I 、II 和IV组间犊牛 ADG 差异不显著（*P*>0.05）。

表 3 酵母多糖对哺乳犊牛体重的影响

Table 3 Effects of yeast polysaccharide on body weight of sucking calves

项目	组别 Groups				*P* 值
Items	I	II	III	IV	*P*-value
初生重 Birth weight/kg	43.51±3.53	46.25±6.88	44.22±4.74	46.00±4.92	0.664
末重 Final weight/kg	80.88±5.22	85.63±5.76	85.43±4.28	83.86±5.90	0.287
平均日增重 ADG/kg	0.62±0.05^{b}	0.66±0.06^{ab}	0.69±0.03^{a}	0.63±0.04^{b}	0.046

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），不同大写字母表示差异极显著（*P*<0.01）。下表同（除表 7）。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below （except for Table 7）.

2.1.2 酵母多糖对哺乳犊牛 DMI 的影响

由表 4 可知，各组犊牛各阶段 DMI 均无显著差异（*P*>0.05），II、III、IV组开食料及苜蓿的 DMI 均高于 I 组，III组的犊牛 DMI 高于其他各组。

表 4 酵母多糖对哺乳犊牛 DMI 的影响

Table 4 Effects of yeast polysaccharide on DMI of sucking calves

项目	组别 Groups				*P* 值
Items	I	II	III	IV	*P*-value
开食料 DMI Starter DMI/（g/d）					
7~17 日龄	427.11±30.35	450.56±28.45	500.10±25.68	472.72±20.15	0.501

7 to 17 days of age					
18~28 日龄 18 to 28 days of age	500.14±16.98	510.12±20.48	540.19±18.77	510.44±14.16	0.346
29~39 日龄 29 to 39 days of age	680.23±40.00	750.30±60.12	850.91±48.13	800.55±70.31	0.099
40~50 日龄 40 to 50 days of age	900.17±48.10	950.30±38.20	1 000.48±50.54	1 000.44±30.22	0.123
51~60 日龄 51 to 60 days of age	1 010.15±80.40	1 100.30±90.18	1 135.10±70.87	1 130.34±99.67	0.705
7~60 日龄 7 to 60 days of age	693.60±40.12	750.32±51.38	808.28±27.78	778.90±80.50	0.143
苜蓿 DMI Alfalfa DMI/（g/d）					
45~50 日龄 45 to 50 days of age	100.15±12.55	105.33±14.31	110.78±12.90	107.20±10.19	0.811
51~56 日龄 51 to 56 days of age	188.22±25.91	197.18±30.32	210.56±23.67	194.78±25.66	0.231
57~60 日龄 57 to 60 days of age	269.20±35.59	280.92±30.39	287.17±22.96	280.17±30.47	0.515
45~60 日龄 45 to 60 days of age	185.85±19.21	194.48±23.07	202.84±30.91	194.05±18.27	0.277

2.1.3 酵母多糖对哺乳犊牛体尺的影响

由表 5 可知，在犊牛饲粮中添加酵母多糖对犊牛的体高、体斜长、胸围和管围均无显著影响（*P*>0.05）。Ⅱ、Ⅲ组较Ⅰ组有增加的趋势。

表 5 酵母多糖对哺乳犊牛体尺的影响

Table 5 Effects of yeast polysaccharide on body measurement of sucking calves cm

项目 Items	组别 Groups Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	*P* 值 *P*-value

体高 Height	89.94±1.47	90.71±1.48	90.28±1.50	90.21±1.15	0.242
体斜长 Body length	86.87±2.03	89.86±2.59	90.28±2.07	87.57±3.01	0.280
胸围 Heart girth	107.37±3.02	108.00±2.67	107.76±2.03	107.36±4.53	0.941
管围 Circumference of cannon bone	13.81±0.37	13.87±0.58	13.90±0.53	13.43±0.53	0.315

2.2 酵母多糖对哺乳犊牛营养物质表观消化率的影响

由表 6 可知，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组犊牛 DM、CP 的表观消化率较Ⅰ组均有所升高，Ⅲ组 DM、CP 的表观消化率与Ⅰ组相比分别提高了 8.66%、9.97%（P<0.05）。Ⅲ、Ⅳ组犊牛 EE 的表观消化率较Ⅰ组分别提高了 7.75%、8.84%（P<0.05）。Ⅲ组犊牛 NDF、ADF 的表观消化率较Ⅰ组分别提高了 15.88%（P<0.05）、16.43%（P<0.01）。犊牛 Ca、P 的表观消化率各组之间未达到显著水平（P>0.05），但Ⅲ组高于其他各组。

表 6 酵母多糖对哺乳犊牛营养物质表观消化率的影响

Table 6 Effects of yeast polysaccharide on nutrient apparent digestibility of sucking calves %

项目 Items	组别 Groups Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	*P* 值 *P*-value
干物质 DM	62.09±1.48[b]	64.54±1.59[b]	67.47±1.83[a]	63.53±1.46[b]	0.025
粗蛋白质 CP	57.89±1.64[b]	58.94±2.10[b]	63.66±2.16[a]	59.65±1.49[b]	0.010
粗脂肪 EE	82.04±1.97[b]	85.00±1.14[b]	88.40±1.22[a]	89.29±1.36[a]	0.033
中性洗涤纤维 NDF	51.27±1.15[c]	55.88±1.24[b]	59.41±1.91[a]	54.14±1.30[b]	0.011

酸性洗涤纤维 ADF	45.72 ± 0.31^{Bc}	48.72 ± 0.67^{Bb}	53.23 ± 1.02^{Aa}	45.98 ± 0.6^{Bc}	0.009
钙 Ca	58.09±1.06	59.24±0.99	60.62±1.23	58.12±0.56	0.073
磷 P	61.72±0.84	62.46±0.56	64.14±0.89	63.19±1.11	0.056

2.3 酵母多糖对哺乳犊牛腹泻率的影响

由表 7 可知，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组犊牛的腹泻率和腹泻频率均低于Ⅰ组，腹泻率比Ⅰ组分别降低了 24.93%、50.00%、24.93%，腹泻频率较Ⅰ组分别降低了 42.86%、61.90%、49.21%。III 组腹泻率和腹泻频率最低。

表 7　酵母多糖对哺乳犊牛腹泻率的影响

Table 7　Effects of yeast polysaccharide on diarrhea rate of sucking calves　　%

项目 Items	组别 Groups Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
腹泻率 Diarrhea rate	7.14	5.36	3.57	5.36
腹泻频率 Diarrhea frequency	0.63	0.36	0.24	0.32

2.4 酵母多糖对哺乳犊牛血清生化指标的影响

2.4.1 酵母多糖对哺乳犊牛血清代谢物的影响

由表 8 可知，Ⅲ、Ⅳ组犊牛血清 TP 含量显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅲ组较Ⅰ组提高了 4.12%。犊牛血清 GLU、ALB、UN 含量各组间均未达到显著水平（$P>0.05$）。

表 9　酵母多糖对哺乳犊牛血清代谢物的影响

Table 9　Effects of yeast polysaccharide on serum metabolites of sucking calves

项目 Items	组别 Groups Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	*P* 值 *P*-value
葡萄糖 GLU/(mmol/L）	4.48±0.65	4.56±0.76	4.63±0.91	4.03±0.77	0.710

总蛋白 TP/（g/L）	70.83±1.33[b]	72.33±1.96[ab]	73.75±1.42[a]	71.58±1.64[a]	0.049
白蛋白 ALB/（g/L）	35.33±1.76	35.42±1.40	34.08±1.10	34.42±1.00	0.438
尿素氮 UN/(mmol/L）	6.08±0.91	6.92±1.59	5.57±1.08	6.06±0.88	0.290

2.4.2 酵母多糖对哺乳犊牛血清酶活性的影响

由表 9 可知，Ⅱ、Ⅲ组犊牛血清 ALP 活性较Ⅰ组分别提高了 7.84%、17.24%（P<0.01）。Ⅲ、Ⅳ组血清 LZM 活性显著高于Ⅰ组（P<0.05），较Ⅰ组分别提高了 6.79%、6.20%。

表 9 酵母多糖对哺乳犊牛血清酶活性的影响

Table 9 Effects of yeast polysaccharide on enzyme activity in serum of sucking calves

项目 Items	组别 Groups Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	*P* 值 *P*-value
碱性磷酸酶 ALP/（U/L）	244.50±8.84[Cc]	263.67±3.54[Bb]	286.67±5.44[Aa]	253.33±4.47[Cc]	<0.001
溶菌酶 LZM/（μg/mL）	6.77±0.43[b]	6.37±0.21[b]	7.23±0.38[a]	7.19±0.49[a]	0.028

2.4.3 酵母多糖对哺乳犊牛血清抗氧化指标的影响

由表 10 可知，Ⅲ组犊牛血清 T-AOC 较Ⅰ组提高了 17.41%（P<0.05）。Ⅱ、Ⅲ组血清 MDA 含量显著低于Ⅰ组（P<0.05），比Ⅰ组分别降低了 11.04%、11.04%，Ⅱ、Ⅲ组之间差异不显著（P>0.05）。

表 10 酵母多糖对哺乳犊牛血清抗氧化指标的影响

Table 10 Effects of yeast polysaccharide on serum antioxidant indexes of sucking calves

项目 Items	组别 Groups Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	*P* 值 *P*-value
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	28.54±5.32[b]	31.95±3.03[b]	33.51±1.36[a]	29.18±2.98[b]	0.021
丙二醛 MDA/（μmol/L）	1.63±0.09[a]	1.45±0.11[b]	1.45±0.08[b]	1.61±0.09[a]	0.026

3 讨 论

3.1 酵母多糖对哺乳犊牛生长性能的影响

Baldwin 等[23]研究表明，由于犊牛哺乳期瘤胃尚未发育完全，因此幼龄犊牛消化机能与幼龄单胃动物相似。许飞龙等[24]在仔猪饲粮中添加 0.1%酵母细胞壁多糖提高了仔猪的日增重。在保育猪断奶初期，饲粮中添加 250 mg/kg 的酵母细胞壁提高了采食量和日增重，但是超过 250 mg/kg 的酵母细胞壁会导致保育猪生长性能降低[25]。据报道，在犊牛牛奶中添加甘露寡糖对犊牛 ADG 没有显著影响[26]。而在早期断奶犊牛饲粮中添加 75 mg/kg 的β-葡聚糖可显著增加犊牛 ADG[27]。本试验中，添加酵母多糖的犊牛 ADG 和 DMI 都高于对照组，添加 2 g/(头·d)的酵母多糖的犊牛 ADG 和 DMI 最高，这可能是由于酵母多糖中甘露寡糖与β-葡聚糖共同作用，增加犊牛采食频率，促进动物肠道消化吸收能力，进而提高采食量和日增重。

3.2 酵母多糖对哺乳犊牛营养物质表观消化率的影响

关于酵母多糖对营养物质养分消化率的影响报道不多。但有报道发现，甘露寡糖可以增加猪的绒毛长度/隐窝深度，增加肠道表面的吸收面积，减少大肠杆菌数量[28-29]，促进黏膜层的生长，加快肠道黏膜细胞恢复[30]，促进营养物质的消化吸收，进而提高消化率。Nochta 等[31]在仔猪饲粮中添加 2、4 g/kg 的甘露寡糖显著提高了 CP、粗纤维在回肠的消化率，添加 1 g/kg 的甘露寡糖显著增加了 Ca、P 的消化率，添加 2 g/kg 的甘露寡糖 DM 消化率高于不添加组。周怿[27]报道，添加 75 mg/kg 酵母β-葡聚糖时，犊牛的 DM、CP、EE 和 P 的消化率显著高于不添加组。Lei 等[32]研究发现，酵母细胞壁提高了肉牛对饲粮 ADF 和总 P 的表观消化率。本试验结果与前人报道基本一致，添加酵母多糖组的各营养物质的表观消化率均高于不添加组，且III组的 DM、CP、NDF 和 ADF 的表观消化率显著高于其他组，这说明哺乳犊牛饲粮中添加适宜量酵母多糖可以促进动物机体对营养物质的吸收利用。

3.3 酵母多糖对哺乳犊牛腹泻率的影响

腹泻是影响犊牛健康生长的重要因素之一。犊牛自身免疫机能的建立大概在 3 周龄以后[33]。犊牛腹泻不仅会增加犊牛的死亡率，更会影响其成年后的产犊与产奶[34]。所以哺乳早期提高犊牛免疫力，降低其患病风险非常必要。Kara 等[26]在犊牛牛奶中添加甘露寡糖发现对犊牛腹泻率没有显著影响。Ghosh 等[35]在杂交肉牛饲粮中添加甘露寡糖显著降低腹泻程度。Zhao 等[36]在断奶猪饲粮中添加甘露寡糖显著降低腹泻率，对断奶猪的生长性能和营养

消化产生积极影响。王忠等[37]发现断奶仔猪饲粮中添加 50 mg/kg 的酵母β-葡聚糖可显著降低仔猪腹泻频率，但随着β-葡聚糖添加剂量的升高，导致仔猪腹泻频率上升。高婕等[38]研究发现酵母细胞壁水解物降低了仔猪腹泻率，维护肠道微生态平衡，抑制有害菌的繁殖。而许飞龙等[24]在仔猪饲粮中添加 0.15%的酵母细胞壁多糖加重了断奶仔猪的腹泻程度，这可能与高剂量全破碎酵母细胞壁多糖的添加有关，导致仔猪容易生病，从而影响仔猪的健康生长。在本试验中添加酵母多糖降低了犊牛的腹泻率，添加 2 g/(头·d)的酵母多糖的犊牛腹泻率最低，这可能与酵母多糖提高了犊牛的抗病免疫力有关。而高剂量的酵母多糖使犊牛腹泻率升高，可能因为酵母多糖导致犊牛消化道后段寄生的微生物发酵过度，特别是大肠杆菌等细菌的非特异性生长，引起动物消化不良、腹泻、胃肠道黏膜受损、机体营养吸收下降，使生长受阻[27]。

3.4　酵母多糖对哺乳犊牛血液指标的影响

3.4.1　酵母多糖对哺乳犊牛血清代谢物的影响

血清中 GLU 的含量是大多数动物维持需要和生长发育的主要能源物质，能反映机体内糖原生成和分解之间的动态平衡[39]，过高或者过低对机体都不利。本试验中，添加酵母多糖犊牛血清中 GLU 含量无显著影响，这可能与犊牛自身维持血糖平衡机能有关。

血清中 TP 含量的高低从总体上反映体内蛋白质合成代谢的强弱，当血清 TP 含量升高时，有利于提高代谢水平和免疫力，促进动物健康生长[40]。本试验中，添加 2 g/(头·d)酵母多糖的犊牛血清 TP 含量最高，说明添加酵母多糖提高机体抵抗力，促进了犊牛健康生长。ALB 在血液中是维持血液渗透压的主要调节物质，犊牛血清 ALB 含量组间无显著差异，但添加 2 g/(头·d)酵母多糖的犊牛血清 ALB 含量最低，说明添加 2 g/(头·d)的酵母多糖可维持血浆渗透压，保持肝功能状态和机体的免疫调节。

动物体蛋白质代谢状况可以通过血清 UN 含量反映。血清 UN 含量降低，说明氮的利用率提高。本试验中，血清 UN 含量组间差异不显著，说明本试验设置的添加剂量对机体氮代谢无影响。

3.4.2　酵母多糖对犊牛血清酶活性的影响

ALP 和 LZM 均为犊牛机体吞噬细胞内的溶酶体酶，对于犊牛吞噬细胞的吞噬能力和杀菌能力具有重要作用。ALP 的活性高低反映了犊牛的生长速度和生长性能。LZM 主要由巨

噬细胞分泌，在机体防护中起着重要作用，具有溶解细菌细胞、迅速清理黏膜、增强机体抗感染能力的作用。王学东等[41]报道，酵母细胞壁能改善仔猪的非特异性免疫能力，提高血清中 ALP 活性。本试验结果显示，给犊牛添加 1、2 g/(头·d)的酵母多糖血清 ALP 活性显著高于不添加组，添加 2、3 g/(头·d)的酵母多糖血清 LZM 活性显著高于不添加组。可见，哺乳犊牛饲粮中添加适宜酵母多糖可以提高犊牛的非特异性免疫，有助于提高抗感染能力。

3.4.3 酵母多糖对犊牛血清抗氧化指标的影响

抗氧化防御系统是动物机体在进化中形成的一个完整而复杂的防御系统，T-AOC 是机体拮抗氧自由基的主要体系，是衡量机体抗氧化能力的综合指标，指标的高低反映了整个酶促和非酶促抗氧化系统对氧化应激的抵抗能力[42]。MDA 是机体脂质过氧化的分解产物之一，其含量高低反映氧自由基水平和脂质过氧化的强度和速率，当含量升高时，机体的抗氧化作用减弱。黄鑫等[43]研究表明在 ROSS 白羽肉公鸡饲粮中添加 1 kg/t 酵母细胞壁多糖能促进肉鸡免疫器官发育，增强肝脏抗氧化能力。李学俭[44]研究发现β-甘露聚糖酶可以显著提高断乳仔猪血清 T-AOC，降低血清 MDA 含量，从而提高机体的抗氧化能力。在本试验中，添加酵母多糖组的犊牛血清 T-AOC 较高，MDA 含量较低，2 g/(头·d)添加组效果最好，说明外源添加酵母多糖可以通过提高机体内抗氧化酶活性来清除机体氧自由基，防止活性氧对机体造成损伤，保障机体健康，但具体机理还有待于进一步研究。

4 结 论

哺乳犊牛饲粮中添加酵母多糖可促进犊牛生长发育和营养物质消化吸收，降低犊牛腹泻率。在本试验条件下，哺乳犊牛饲粮中酵母多糖的适宜添加量为 2 g/(头·d)。

参考文献:

[1] 王建林,陈中平,聂琴,等.酵母细胞壁在动保中的应用研究进展[J].饲料工业,2015,36(14):61–63.

[2] GHOSH T K,HALDAR S,BEDFORD M R,et al.Assessment of yeast cell wall as replacements for antibiotic growth promoters in broiler diets:effects on performance,intestinal histo-morphology and humoral immune responses[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2012,96(2):275–284.

[3] REISINGER N,GANNER A,MASCHING S,et al.Efficacy of a yeast derivative on broiler

performance,intestinal morphology and blood profile[J].Livestock Science,2012,143(2/3):195–200.

[4] 夏超笃.酵母细胞壁基于干预免疫及抗氧化功能影响黄羽肉鸡生长性能的机理[D].硕士学位论文.广州:华南农业大学,2016.

[5] 李兴华.枯草芽孢杆菌和酵母细胞壁多糖对哺乳和断奶仔猪生产性能的影响研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2013.

[6] 李玉欣.毕赤酵母甘露寡糖对猪生产性能和免疫性能的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2015.

[7] EICHER S D,MCKEE C A,CARROL J A,et al.Supplemental vitamin C and yeast cell wall β-glucan as growth enhancers in newborn pigs and as immunomodulators after an endotoxin challenge after weaning[J].Journal of Animal Science,2006,84(9):2352－2360.

[8] SANCHEZ N C B,YOUNG T R,CARROLL J A,et al.Yeast cell wall supplementation alters the metabolic responses of crossbred heifers to an endotoxin challenge[J].Innate Immunity,2014,20(1):104–112.

[9] YU C W,CHEN Y S,CHENG Y H,et al.Effects of fumarate on ruminal ammonia accumulation and fiber digestion *in vitro* and nutrient utilization in dairy does[J].Journal of Dairy Science,2010,93(2):710–711.

[10] SALINAS-CHAVIRA J,ARZOLA C,GONZÁLEZ-VIZCARRA V,et al.Influence of feeding enzymatically hydrolyzed yeast cell wall on growth performance and digestive function of feedlot cattle during periods of elevated ambient temperature[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(9):1288–1295.

[11] 许浩,申立泉,康坤,等.日粮添加酵母细胞壁对泌乳早期荷斯坦牛生产性能的影响[J].中国奶牛,2017(5):4–8.

[12] NOCEK J E,HOLT M G,OPPY J.Effects of supplementation with yeast culture and enzymatically hydrolyzed yeast on performance of early lactation dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2011,94(8):4046–4056.

[13] National Research Council.Nutrient requirements of dairy cattle[M].7th

rev.ed.Washington,DC:National Academy of Sciences,2001.

[14] JENNY B F,VANDIJK H J,COLLINS J A.Performance and fecal flora of calves fed a *Bacillus subtilis* concentrate[J].Journal of Dairy Science,1991,74(6):1968–1973.

[15] HEINRICHS A J,JONES C M,HEINRICHS B S.Effects of mannan oligosaccharide or antibiotics in neonatal diets on health and growth of dairy calves[J].Journal of Dairy Science,2003,86(12):4064–4069.

[16] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.

[17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 6433－2006 饲料中粗脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2006.

[18] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 6436－2002 饲料中钙的测定[S].北京:中国标准出版社,2002.

[19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T 6437－2002 饲料中总磷的测定分光光度法[S].北京:中国标准出版社,2002.

[20] 国家技术监督局.GB/T 6432－1994 饲料中粗蛋白测定方法[S].北京:中国标准出版社,1994.

[21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 20806－2006 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定[S].北京:中国标准出版社,2007.

[22] 中华人民共和国农业部.NY/T 1459－2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定[S].北京:农业出版社,2008.

[23] BALDWIN V I R L,MCLEOD K R,KLOTZ J L,et al.Rumen development,intestinal growth and hepatic metabolism in the pre-and postweaning ruminant[J].Journal of Dairy Science,2004,87(Suppl):E55-E65.

[24] 许飞龙,褚青坡,李会智,等.酵母细胞壁多糖对断奶仔猪生产性能和免疫性能的影响[J].畜牧与兽医,2016,48(11):43–47.

[25] WANG X,TSAI T C,WALK C L,et al.219 Effect of yeast cell wall (YCW) inclusion rate on growth performance in nursery pigs[J].Journal of Animal Science,2017,95(Suppl.2):105.

[26] KARA C,CIHAN H,TEMIZEL M,et al.Effects of supplemental mannanoligosaccharides

on growth performance,faecal characteristics and health in dairy calves[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(11):1599–1605.

[27] 周怿.酵母β-葡聚糖对早期断奶犊牛生长性能及胃肠道发育的影响[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2010.

[28] ZHAO J,HARPER A F,ESTIENNE M J,et al.Growth performance and intestinal morphology responses in early weaned pigs to supplementation of antibiotic-free diets with an organic copper complex and spray-dried plasma protein in sanitary and nonsanitary environments[J].Journal of Animal Science,2007,85(5):1302–1310.

[29] CASTILLO M,MARTÍN-ORÚE S M,TAYLOR-PICKARD J A,et al.Use of mannanoligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and diarrhea preventative in weaning pigs:effects on microbiota and gut function[J].Journal of Animal Science,2008,86(1):94–101.

[30] CAINE W R,SAUER W C,HE J.Prebiotics,probiotics and egg yolk antibodies:novel alternatives to antibiotics for improving health of piglets and growing pigs[C]//Proceedings of the 10th International Symposium on Animal Nutrition.Kaposvár:Hungary,2001.

[31] NOCHTA I,HALAS V,TOSSENBERGER J,et al.Effect of different levels of mannan-oligosaccharide supplementation on the apparent ileal digestibility of nutrients,N-balance and growth performance of weaned piglets[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2010,94(6):747–756.

[32] LEI C L,DONG G Z,JIN L,et al.Effects of dietary supplementation of montmorillonite and yeast cell wall on lipopolysaccharide adsorption,nutrient digestibility and growth performance in beef cattle[J].Livestock Science,2013,158(1/2/3):57–63.

[33] HULBERT L E,MOISÁ S J.Stress,immunity,and the management of calves[J].Journal of Dairy Science,2016,99(4):3199–3216.

[34] HEINRICHS A J,HEINRICHS B S.A prospective study of calf factors affecting first-lactation and lifetime milk production and age of cows when removed from the herd[J].Journal of Dairy Science,2011,94(1):336–341.

[35] GHOSH S,MEHLA R K.Influence of dietary supplementation of prebiotics (mannanoligosaccharide) on the performance of crossbred calves[J].Tropical Animal Health and Production,2012,44(3):617–622.

[36] ZHAO P Y,JUNG J H,KIM I H.Effect of mannan oligosaccharides and fructan on growth performance,nutrient digestibility,blood profile,and diarrhea score in weanling pigs[J].Journal of Animal Science,2012,90(3):833–839.

[37] 王忠,呙于明,王广旭,等.日粮添加不同水平酵母β-1,3/1,6-葡聚糖对断奶仔猪生产性能和血清生理指标的影响[J].中国畜牧杂志,2007,43(17):22–26.

[38] 高婕,赵晓静.酵母细胞壁水解物对断奶仔猪生产性能和腹泻率的影响[J].饲料博览,2014(4):5–8.

[39] 李茂,字学娟,徐铁山,等.木薯叶粉对鹅生长性能和血液生理生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(10):3168－3174.

[40] 肖海霞,托乎提·阿及德,石国庆,等.不同月龄断奶应激对马驹血清指标和体增重的影响[J].畜牧兽医学报,2015,46(11):2010–2019.

[41] 王学东,李永,姚娟,等.酵母细胞壁对仔猪部分免疫指标影响的初步研究[J].中国饲料,2008(22):16–18.

[42] 蒋宗勇,王燕,林映才,等.硒代蛋氨酸对肥育猪血浆和组织硒含量及抗氧化能力的影响[J].中国农业科学,2010,43(10):2147–2155.

[43] 黄鑫,贺淼,廖灿青,等.酵母细胞壁多糖与酵母硒联用对肉鸡免疫功能的影响[J].国外畜牧学(猪与禽),2014,34(3):54–55.

[44] 李学俭.β-甘露聚糖酶对断乳仔猪生产性能的影响及其机理的研究[D].博士学位论文.沈阳:沈阳农业大学,2008.

Effects of Yeast Polysaccharide on Growth Performance, Digestion Metabolism and Serum Biochemical Indexes of Sucking Calves

DONG Jinjin[1] GAO Yanxia[1] LI Yan[2] LI Qiufeng[1] CAO Yufeng[1] LIU Bo[3] XU Limin[4] LI Jianguo[1*]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Hebei Agricultural University*, *Baoding* 071001,

China; 2. *College of Veterinary Medicine*, *Hebei Agricultural University*, *Baoding* 071001, *China*; 3. *Hengshui Bureau of Agriculture and Animal Husbandry*, *Hengshui* 053000, *China*; 4. *Longhua County Bureau of Agriculture and Animal Husbandry*, *Longhua* 068150, *China*）

Abstract: This experiment was designed to investigate the effects of different dosages of yeast polysaccharide on growth performance, digestion metabolism and serum biochemical indexes of sucking calves. Fifty-six Holstein calves with a similar body weight were selected and allotted randomly to 4 groups with 14 calves in each group .Calves in group Ⅰ (control group) were fed a basal diet, and those in groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were fed the basal diets supplemented with yeast polysaccharide at the dosage of 1, 2, 3 g per day per head, respectively. The experiment lasted for 60 d. The results showed as follows: 1) the average daily gain of calves in group Ⅲ was significantly higher than that in group Ⅰ ($P<0.05$); the dry matter intake of calves was no significant difference among groups （$P>0.05$）, and that in group Ⅲ was the highest. Adding yeast polysaccharide had no significant effect on body height, body length, heart girth and circumference of cannon bone of calves （$P>0.05$）. 2) The apparent digestibility of dry matter, crude protein, ether extract, neutral detergent fiber and acid detergent fiber of calves in group Ⅲ was significantly higher than that in group Ⅰ ($P<0.05$). 3) The diarrhea rate and diarrhea frequency of calves in groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were lower than those in the group Ⅰ. 4) Serum total protein content of calves in groups Ⅲ and Ⅳ were significantly higher than that in the group I ($P<0.05$); serum glucose, albumin, urea nitrogen contents of calves were no significant difference among groups ($P>0.05$); serum alkaline phosphatase, lysozyme activities and total antioxidant capacity of calves in group Ⅲ were significantly higher than those in group I ($P<0.05$), the content of serum malonaldehyde of calves in group Ⅲ was significantly decreased compared with the group Ⅰ. It is concluded that adding yeast polysaccharides in the diet of sucking calves can promote growth and development, promote digestion and absorption of nutrients, reduce calf diarrhea rate. Under the conditions of this experiment, the suitable dosage of yeast polysaccharide in sucking calves is 2 g per day per head.

Key words: yeast polysaccharide; sucking calves; growth performance; apparent digestibility;

serum biochemical index

*Corresponding author, professor, E-mail： 1181935094@qq.com （责任编辑 陈 鑫）